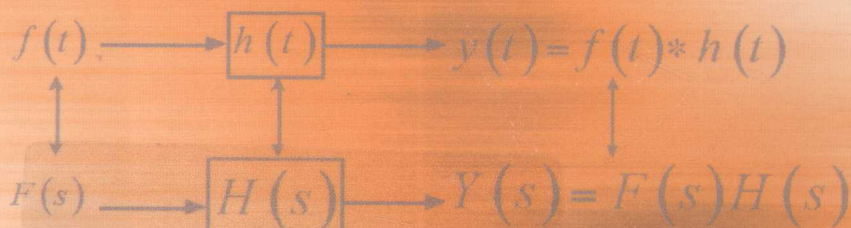




高等院校电子信息与电气学科特色教材

控制工程数学基础

马 浩 付兴建 主编
苏 中 主审



清华大学出版社





高等院校电子信息与电气学科特色教材

控制工程数学基础

马 浩 付兴建 主编
苏 中 主审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

工程数学中的傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换是控制工程领域常用的数学工具。这些内容既有内在的关联性,又与多门控制类专业课程密切相关。目前的课程设置大多是将这些内容分散到不同的课程中讲授,既相对分散,又缺乏系统性。本书以连续系统和离散系统两大模块为一条主线,首先系统地阐述连续系统的时域分析法和工程数学中各种变换域(频域、复频域)分析的数学工具——傅里叶变换和拉普拉斯变换,然后阐述离散系统的时域分析法和工程数学中变换域(z 域)分析的数学工具—— z 变换法。全书内容共 6 章,每章都安排了适量的例题与习题,并考虑了例题与习题的典型性与多样性。

本书可作为自动化、智能科学技术、电气自动化等电子信息类专业低年级本科生的教材,也可供从事控制工程的教师和研究人員参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

控制工程数学基础/马洁,付兴建主编. —北京:清华大学出版社,2010.5

(高等院校电子信息与电气学科特色教材)

ISBN 978-7-302-22322-1

I. ①控… II. ①马… ②付… III. ①工程控制论—高等学校—教材 IV. ①TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 055964 号

责任编辑:王一玲

责任校对:李建庄

责任印制:何 莘

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:11.5 字 数:282 千字

版 次:2010 年 5 月第 1 版 印 次:2010 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:23.00 元

产品编号:035745-01

出版说明

随着我国高等教育逐步实现大众化以及产业结构的进一步调整,社会对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这反映到高等学校的定位与教学要求中,必然带来教学内容的差异化和教学方式的多样性。而电子信息与电气学科作为当今发展最快的学科之一,突出办学特色,培养有竞争力、有适应性的人才,是很多高等院校的迫切任务。高等教育如何不断适应现代电子信息与电气技术的发展,培养合格的电子信息与电气学科人才,已成为教育改革中的热点问题之一。

目前我国电类学科高等教育的教学中仍然存在很多问题,例如在课程设置和教学实践中,学科分立,缺乏和谐与连通;局部知识过深、过细、过难,缺乏整体性、前沿性和发展性;教学内容与学生的背景知识相比显得过于陈旧;教学与实践环节脱节,知识型教学多于研究型教学,所培养的电子信息与电气学科人才还不能很好地满足社会的需求等等。为了适应 21 世纪人才培养的需要,很多高校在电子信息与电气学科特色专业和课程建设方面都做了大量工作,包括国家级、省级、校级精品课的建设等,充分体现了各个高校重点专业的特色,也同时体现了地域差异对人才培养所产生的影响,从而形成各校自身的特色。许多一线教师在多年教学与科研方面已经积累了大量的经验,将他们的成果转化为教材的形式,向全国其他院校推广,对于深化我国高等学校的教学改革是一件非常有意义的事。

为了配合全国高校培育有特色的精品课程和教材,清华大学出版社在大量调查研究的基础之上,在教育部相关教学指导委员会的指导下,决定规划、出版一套“高等院校电子信息与电气学科特色教材”,本套教材将涵盖通信工程、电子信息工程、电子科学与技术、自动化、电气工程、光电信息工程、微电子学、信息安全等电子信息与电气学科,包括基础课程、专业主干课程、专业课程、实验实践类课程等多个方面。本套教材注重立体化配套,除主教材之外,还将配套教师用 CAI 课件、习题及习题解答、实验指导等辅助教学资源。

由于各地区、各学校的办学特色、培养目标和教学要求等均有所不同,所以对特色教材的理解也不尽一致,我们恳切希望大家在使用本套教材的过程中,及时给我们提出批评和改进意见,以便我们做好教材的

修订改版工作,使其日趋完善。相信经过大家的共同努力,这套教材一定能成为特色鲜明、质量上乘的优秀教材,同时,我们也欢迎有丰富教学和创新实践经验的优秀教师能够加入到本丛书的编写工作中来!

清华大学出版社

高等院校电子信息与电气学科特色教材编委会

联系人: 王一玲 wangyl@tup.tsinghua.edu.cn

序言

自动化专业最主要的主干学科是控制科学与工程,而控制科学是使用应用数学知识最多的学科之一。可以说,如果不具有深厚的数学功底,将会对自动化专业主干理论课的学习带来很大影响。另一方面,根据教育部高等院校自动化专业教学指导分委员会组织众多专家的研究结果,认为自动化专业分为研究主导型、工程研究主导型、应用技术主导型等几种类型比较合适。对于应用技术主导型自动化专业,如何做到既在基础理论方面具有足够的基础,又在专业领域的某些方向上掌握较为深入的专业知识和相关能力,是一个值得探讨的问题。

长久以来,除了高等数学外,自动化专业所需要的工程数学知识散见于多门课程之中,例如线性代数、复变函数理论、积分变换等。各个课程通常强调各自的理论体系,一些知识学习理解比较困难,但后续专业课程甚至专业生涯中都很少用到。因此,在精简教学课时的教改大潮中,一些学校将某些工程数学课程逐出教学计划,以腾出足够的课时让给随着信息技术迅速发展而需要开设的课程。但是,这样又给学生造成知识体系的缺失,不利于构建学生完整的知识结构。因此,如何用不多的课时,教给学生必要而足够的工程数学知识,就成为应用技术主导型自动化专业教学改革的一个值得注意的课题。

本书的编写就是为了解决这一问题而进行的有益的尝试。编者是具有较高学术造诣的中青年博士、学者,书中的内容体现了他们坚实的数学功底和广博的专业知识。本书以控制工程所需要解决的问题为出发点,分别介绍了复变函数基础知识、微分方程、傅里叶变换、拉普拉斯变换、 z 变换等方面的工程数学知识。为了使自动化专业学生对工程数学的应用背景有足够的了解,单辟一章讲解控制工程导论,这对于学生站在一个较高的层面来理解工程数学的作用很有帮助。不仅如此,在相关章节中,还分别介绍了相关数学知识在滤波器、电路分析、脉冲传递函数等方面的应用。由于是从专业的角度来叙述相关应用,不仅有助于学生理解数学知识,对将来专业课程的学习也会很有裨益。书中多处介绍了一些著名数学家的简历,在相当程度上增加了本书学习的趣味性,想必会受到广大学生的欢迎。

希望本书的出版有助于提高我国应用技术主导型自动化专业工程数学的教学质量。

刘小河 教授

教育部高等院校自动化专业教学指导分委员会委员

2009年11月

前言

控制论是从数学的一个分支上延伸与发展起来的,自从维纳发表了《控制论》,钱学森发表了《工程控制论》以来,控制工程就与数学密不可分。“控制工程数学基础”课程作为自动化、智能科学技术、电气自动化等电子信息类专业低年级本科生的必修课,是一门理论性和实践性较强的工具类课程。其先修课程为高等数学,后续课程有电路分析基础、自动控制原理、现代控制理论、控制系统仿真、数字信号处理、计算机控制系统等。本课程建议安排40~48学时。

本书从控制系统的实例出发,引出了控制工程和控制系统的的一些基本概念,重点讲授内容是工程数学中的三种基本变换工具:傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换的概念及运算法则。本书在结构安排上,以连续控制系统和离散控制系统两大模块为一条主线,首先讲述了时域分析法,然后讲述工程数学中各种变换域(频域、复频域和 z 域)分析的方法。在内容处理上,突出概念,以介绍结论为重点,配以适当的证明,这样易于低年级学生理解。每一章都安排了适量的例题与习题,并考虑了例题与习题选择上的典型性与多样性。总体上看,本书基本包括了控制类课程所需要的工程数学的基础知识,有利于为后续专业课的学习、毕业设计、研究生课程以及工程应用实践等打下坚实的基础。

傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换是工程实践中用来求解线性常微分方程的简便工具,同时也是建立系统的频率域数学模型——频率特性、复数域数学模型——传递函数和 z 域数学模型——脉冲传递函数的工程数学基础。这些工程数学的运算能力是自动化及相关专业从事科研和技术工作的基本功,而在目前的课程体系中,傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换等内容是分别在不同学期、不同课程中讲授的,相对分散,学时又较少,这样就造成学生对这些知识的掌握缺乏系统性和扎实性,在本科生毕业设计和研究生教学中明显暴露出这方面的弱点。

本教材的重点内容是工程数学中三种基本变换:傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换。在教材的编写中注重低年级本科生的实际情况,注重傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换的数学定义、物理意义和工程概念三结合,以介绍结论为重点,配以适当的证明,编写有各种典型例题与习题,强化学生应用工程数学工具的能力。

本教材以连续系统和离散系统两大模块为一条主线,全书内容可划分为三个层次:基本概念导引、核心内容以及与控制类后续课程相关基本概念的初步建立。

本教材不仅体现课内知识间的内在联系,如傅里叶变换、拉普拉斯

变换和 z 变换三种变换间的内在关系,还体现了多门课程间的相互联系,例如提供了对电路分析基础、自动控制原理、控制系统仿真、计算机控制系统等课程专业内容的数学工具支持。

本教材第1章控制工程导论,是与控制有关的基本概念的导引;第2章复数与复变函数基础;第3章连续系统的时域分析,重点阐述微分方程及其时域响应,因在数学、物理和电路等课程中也安排有这部分教学内容,在这里着重讲解物理概念和工程概念;第4章~第6章是核心内容,重点讲授傅里叶变换、拉普拉斯变换和 z 变换,并注重与控制类后续课程的衔接以及控制工程的基本概念的初步建立。

为提高学生学习兴趣,扩大学生视野,使学生了解工程数学的发展背景,书中还对复变函数、积分变换等发展史及相关的数学家作了简要的介绍。

本教材由马洁、付兴建主编,苏中教授主审,书中不妥及错误之处,敬请批评指正。

编者

2009年11月

目录

第 1 章 控制工程导论	1
1.1 “三论”与控制工程	1
1.1.1 “三论”及三位科学家	1
1.1.2 控制论与工程控制论	3
1.2 控制系统的基本概念	5
1.2.1 控制系统的实例	5
1.2.2 控制系统的基本特点和基本要求	6
1.2.3 控制系统中的有关定义	7
1.2.4 控制系统的分类	8
1.3 线性系统的性质	10
1.4 经典控制理论与现代控制理论	11
1.4.1 控制理论的发展历程	11
1.4.2 控制系统的模型论	12
1.4.3 控制系统的主要分析方法	12
小结	13
习题	13
第 2 章 复数与复变函数基础	14
2.1 复数及其代数运算	14
2.1.1 复数的概念	14
2.1.2 复数的代数运算	15
2.1.3 复数的四则运算	15
2.1.4 复数运算的特殊情况	16
2.1.5 共轭复数的运算	16
2.2 复数的表示	17
2.2.1 复数的几何表示	17
2.2.2 复数的三角表示和指数表示	18
2.3 复数的乘幂与方根	19
2.3.1 复数的乘积与商	19
2.3.2 复数的幂与根	20
2.4 复变函数与映射	22
2.4.1 复变函数的定义	22
2.4.2 映射的概念	23

小结	25
习题	26
复数的概念与复变函数发展简史	27
第 3 章 连续系统时域分析	30
3.1 常用的控制信号及其运算	30
3.1.1 常用控制系统信号的表示	30
3.1.2 信号的基本运算	34
3.2 时域数学模型——微分方程	37
3.3 系统的时域响应	41
3.4 阶跃响应	45
3.5 冲激信号与冲激响应	47
3.5.1 单位冲激信号	47
3.5.2 冲激响应	51
小结	52
习题	53
常微分方程	55
第 4 章 连续系统频域分析的工程数学基础	58
4.1 傅里叶变换及其反变换	58
4.1.1 傅里叶变换的定义	58
4.1.2 常用非周期函数的傅里叶变换	63
4.1.3 周期函数的傅里叶变换	67
4.2 傅里叶变换的性质与应用	69
4.3 频率特性的概念	75
4.4 傅里叶变换在系统频域分析中的应用	77
4.4.1 微分方程的傅里叶变换求解方法	77
4.4.2 信号的无失真传输条件	78
4.4.3 理想滤波器	80
小结	81
习题	82
积分变换发展简史	84
数学家傅里叶	85
第 5 章 连续系统复频域分析的工程数学基础	86
5.1 拉普拉斯变换	86
5.1.1 拉普拉斯变换的定义	86

5.1.2 常用函数的拉普拉斯变换	89
5.2 拉普拉斯变换的性质	91
5.3 拉普拉斯反变换	99
5.4 复频域数学模型——传递函数	103
5.4.1 传递函数的定义	103
5.4.2 传递函数的零、极点形式	106
5.4.3 传递函数的零、极点分布与时域特性的关系	106
5.5 拉普拉斯变换在系统复频域分析中的应用	110
5.5.1 用拉普拉斯变换法解线性常系数微分方程	110
5.5.2 拉普拉斯变换在电路分析中的应用	112
小结	115
习题	117
数学家拉普拉斯	119
第 6 章 离散系统的工程数学基础	120
6.1 采样的基本概念	120
6.1.1 采样过程	120
6.1.2 采样定理	122
6.2 离散时间序列的概念	123
6.2.1 离散时间序列的表示	123
6.2.2 常用的离散时间序列	124
6.2.3 离散时间序列的基本运算	126
6.3 时域数学模型——差分方程及其求解	128
6.3.1 差分方程	128
6.3.2 差分方程的求解方法	130
6.4 z 变换及其性质	136
6.4.1 z 变换的定义	136
6.4.2 典型离散序列的 z 变换	137
6.4.3 z 变换的主要性质	139
6.4.4 z 反变换	143
6.5 z 域数学模型——脉冲传递函数的基本概念	146
6.5.1 脉冲传递函数的定义	146
6.5.2 脉冲传递函数的零、极点分布与稳定性	148
6.6 z 变换在系统分析中的应用	150
小结	153
习题	154
数学家棣莫弗	155



附录 A 数学发展简史	157
附录 B 工程数学三大变换间的关系	160
附录 C 常用函数的三大变换对比表	163
部分习题答案	165
参考文献	169

第1章

控制工程导论

1.1 “三论”与控制工程

1.1.1

“三论”及三位科学家

系统论、控制论和信息论是 20 世纪 40 年代先后创立并获得迅猛发展的最伟大的科学研究理论成果之一。人们摘取了这三论的英文名字的第一个字母,把它们称为 SCI 论。它们是控制工程的方法论基础。图 1-1、图 1-2 和图 1-3 是三位科学家的风采。

1. 信息论与美国数学家香农

信息论是 1948 年由美国数学家香农(Claude Elwood Shannon)创立的,信息论是运用概率论与数理统计的方法研究信息传输和信息处理系统中一般规律的科学。

信息理论可分为三个方面:

(1) 以编码为中心的信息论,主要研究信息系统模型、信度的度量、信道的容量、信源统计特性、信源的编码和位道编码等,这些是引发信息论的核心问题。

(2) 以信息作为主要研究对象,包括信号噪声的统计分析、信号的检测、滤波、估计和预测等理论。

(3) 以计算机为中心的信息处理的基本理论,包括语言、文字、图像的模式识别、自动翻译等。在基本理论和实际应用方面,信息论不断取得新的进展;模糊信息论、算法信息论、相对信息论、主观信息以及智能信息处理,自动化信息控制等大量崭新的课题相继发展。

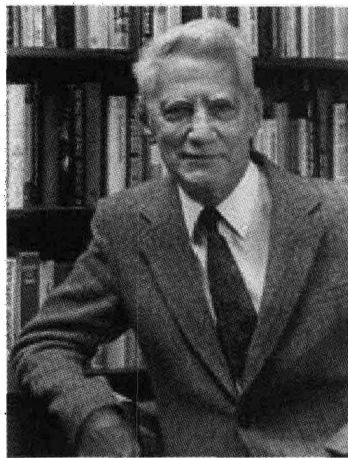


图 1-1 美国数学家香农(1916—2001)

2. 系统论与美国生物学家贝塔朗菲

系统论是 1945 年由美国生物学家贝塔朗菲(Ludwig von Bertalanffy)创立的,是研究



图 1-2 美国生物学家贝塔朗菲
(1901—1972)

系统的结构和功能(包括演化、协同和控制)的一般规律的科学,其研究对象为各类系统。系统论的基本思想:世界上任何事物都可以看成是一个系统,系统是普遍存在的,我们应该把所研究和处理的对象,当作一个系统,从整体上分析系统组成要素、各个要素之间的关系以及系统的结构和功能,还有系统、组成要素、环境三者的相互关系和变动的规律性,根据分析的结果来调整系统的结构和各要素关系,使系统达到优化目标。世界上任何事物都可以看成是一个系统,系统是普遍存在的。大至渺茫的宇宙,小至微观的原子,一粒种子、一群蜜蜂、一台机器、一个工厂、一个学会团体等都是系统,整个世界就是系统的集合。

系统论的任务,不仅在于认识系统的特点和规律,更重要的还在于利用这些特点和规律去控制、管理、改造或创造系统,使它的存在与发展合乎人的目的需要。

3. 控制论与美国数学家维纳

控制论是 1948 年由美国数学家维纳(Norbert Wiener)提出的,是以数学为纽带研究动物、机器、自然和社会等系统中控制、反馈和通信的共同规律的科学。在控制论中,信息概念是一个基本的概念,控制论是建立在信息论基础上的。信息论的反馈原理,在控制论中占有很重要的地位,几乎一切控制都包含反馈—系统输送出去的信息,作用于被控对象后产生的结果,再输送回来,并对信息的再输出发生影响。20 世纪 50 年代后,控制论向自然科学和社会科学的各个领域渗透,广泛地应用于心理学、管理科学、领导科学等学科。

耗散结构论、协同论和突变论是 20 世纪 70 年代以来陆续确立并获得极快进展的三门系统理论的分支学科,被称为“新三论”,也称为 DSC 论。因此,信息论、系统论和控制论就被称为“老三论”了。耗散结构论是由比利时科学家普里戈津(Prigogine, 1917—)在 1969 年提出的,他于 1977 年获得诺贝尔化学奖。协同论又称为“协同学”,是由联邦德国著名理论物理学家哈肯(Haken, 1927—)在 1973 年创立的。突变论创始人是法国数学家雷内托姆(R. Thom, 1923—),他于 1972 年发表的《结构稳定性和形态发生学》一书阐述了突变理论,荣获国际数学界的最高奖——菲尔兹奖章。



图 1-3 美国数学家维纳(1894—1964)

4. “三论”关系与控制工程

系统论、控制论和信息论三门学科密切相关,它们的关系可以这样表述:系统论提出系

统概念并揭示其一般规律,控制论研究系统演变过程中的规律性,信息论则研究控制的实现过程。因此,信息论是控制论的基础,二者共同成为系统论的研究方法。

在控制系统中,有信息的测量(提取)、处理(加工或变换)和信息的传输、存储及利用,并最终形成控制作用(也是一种信息)。系统、信息和控制三者密不可分。

控制工程是以控制论、信息论和系统论为基础,以系统为主要对象,以数学方法、计算机技术、网络技术、通信技术、各种传感器和执行器等为主要工具,运用控制原理和方法实现和促进能量/物质的有效利用,实现和促进信息的控制应用和系统集成。

1.1.2

控制论与工程控制论

早在两千多年前我国人民就有自动控制的思想。他们先后发明了铜壶滴漏计时器(自动计时),自动定向指南车(自动导航)以及各种模拟天体运动的天文观测仪器等自动装置。现代的自动控制系统是在18世纪欧洲的产业革命时才开始产生的。蒸汽机飞球调速装置、液面控制装置和温度控制装置等自动化装置在工业生产中广泛地得到应用。随着有关自动控制应用领域的增多,在工业实践的基础上,对自动控制系统(伺服系统)进行科学理论分析也逐渐于19世纪中叶以后开始。

20世纪30年代以后,特别是第二次世界大战开始后,由于发展生产和军事技术的需要,出现了各种类型的自动化系统,其中如各种自动化加工设备、电力系统和化工生产流程的自动调节系统以及内燃机和汽轮机的自动控制装置等,都显著地提高了工业生产效率。军事的竞争迅速地促进了军事装备的自动化,如飞机的自动驾驶、火炮的自动瞄准、导弹的自动制导以及雷达的自动跟踪等。这时期的电子技术、无线电通信、神经生理学、生物学、数理逻辑、计算技术以及统计学等各种科学技术和理论都得到了飞跃发展。这一切都为控制论的诞生奠定了基础。

控制论的主要奠基人是美国科学家诺伯特·维纳(Nobert Wiener,1894—1964)。他于1948年所写的《控制论》一书被公认为控制论学科诞生的标志。他在自传“昔日的神童”中说,“我曾经是个名副其实的神童。因为我不到12岁就进入大学,不到15岁就获得学士学位,不到19岁就成了哲学博士”。后来他又在英国数学家罗素的影响下专攻数学,在纯数学理论上取得了成果。他对数学、物理学和博物学都有浓厚的兴趣。在研究随机的物理现象,如布朗运动等过程中,使他逐步地确立了统计理论的思想。这对于以后创立控制论是极有意义的。因为控制论研究对象的特点,在于它能够根据所处的随机性环境来决定和调整自己的行动,具有一定的灵活性和适应性。这就表明控制论只能建立在统计理论的基础上。同样由于无线电通信工程的需要,促使维纳解决滤波器的信息与噪声问题。在研究中,他提出了信息量的概念(信息论创始人香农也同时从不同的途径独立地提出了这个概念),从而解决了信息传输过程中定量计算的问题。这也是维纳以后创立控制论所需的重要理论基础。

30年代末期,维纳参加了由哈佛医学院的罗森勃吕特领导的每月召开的科学方法讨论会。这个讨论会对维纳的思想产生了极大影响。在这个讨论会中,由于聚集了大批的各种学科的杰出人才,在餐桌上无拘无束的自由讨论中,来自各个不同学科的学者从不同的角度去讨论问题,同时也各自从本学科的角度去理解别人提出的问题,这使维纳极大地开阔了

视野,增长了见识,活跃了思想。维纳认识到,在科学发展史上可以得到最大收获的领域,是各种已经建立起来的学科之间被忽视的科学边缘区,维纳称之为“科学的处女地”。由此他立志开拓科学领域的这个空白区。控制论的创立正是他在“科学的处女地”上辛勤耕耘的结果。

他的这种处于萌芽状态的思想在第二次世界大战中得到了发展和成熟。他参与研究出高射炮自动瞄准装置,他从成功中意识到,自动控制系统在行为上与人和动物这样的生命机体极为相似,在论文中提出“一切有目的的行为都可以看做是需要负反馈的行为”,通过“行为”把“反馈”和“目的”联系起来,实质上找到了机器模拟人的动作的机制。这里已经比较清晰地阐述了控制论的基本思想。维纳是一个对社会有使命感的科学家。战争年代他积极地投身于军事部门,战争后,他也思考应用“控制论”思想于社会。“控制论”成为贯穿于工程、生物、社会和思维等完全不同的领域的科学。

控制论的基本概念是信息概念、统计概念和反馈概念。信息概念的提出,是人类对客观世界认识的深化,它揭示了人类以前没有认识到的客观世界的一种普遍联系,即信息联系;统计概念为定量分析各种系统信息量的联系提供了理论工具;反馈概念则揭示了自动控制系统、生物系统、社会系统和智能系统等保持自我稳定的共同方式。由于信息概念、统计概念和反馈概念把本质极不相同的工程系统、生物界、思维智能和社会系统沟通起来,使得这些系统中调节和控制的机能都可以用控制论方法统一地加以处理,所以,控制论又是一门方法论学科。

工程控制论的诞生以1954年我国科学家钱学森出版的《工程控制论》一书为标志,这本著作首先提出工程控制论的概念,并把控制论推广到工程领域。继而出现了生物控制论、经济控制论、社会控制论,将控制论推广应用到生物系统、经济运行及社会管理领域。

钱学森(图1-4)被称为人民科学家,中国“两弹一星”的元勋,20世纪30年代毕业于上海交通大学机械系,1935年在美国加州理工学院研究高速飞行问题。在空气动力学、航空结构力学、火箭发动机、制导系统等方面都取得了突破性的成绩。1947年36岁的钱学森成为麻省理工学院最年轻的一位终身教授。中华人民共和国的诞生,促使钱学森决定尽快地回归祖国,但他受到了麦卡锡主义者的迫害拘留达5年之久,于1955年才得以回国。这本著作就是在这期间完成的。它的目的是把工程实际中所用的许多设计原则加以整理和总结,使之成为理论,因而也就把工程实际中的各个不同领域的共同性显示出来,而且也有力地说明了一些基本概念的重大作用。

维纳提出了控制论,钱学森的工程控制论率先解决了实际与理论的统一,工程与数学的统一问题,为控制论深入应用于各领域提供了有力的工具和方法。目前一种趋势是应用工程控制论的理论与方法去研究生物等系统,但由于生物等系统是经过亿万长期进化的结果,它自身形成了许多工程系统所望尘莫及的优点,如具有自适应、自镇定、自学习、自修复以及高可靠性等特性,因此,另一种趋势是人们开始从生物等系统的研究中探索新的控制理



图1-4 中国著名科学家钱学森
(1911—2009)

论与方法,以促进工程控制论的发展,这可能就是控制论发展的辩证道路。

1.2 控制系统的基本概念

“自动控制”这个词从字面上就反映出是节省人力、改善劳动条件和增加安全保障的有效手段。然而,在大多数情况下,一提起自动控制,人们就会联想到卫星、导弹和数控机床等高新技术。其实不然,自动控制早已向人们衣、食、住、行的各个环节里渗透,“自动化”就在我们身边。这里从我们身边具体的控制系统出发,引出控制系统中的有关定义。

1.2.1

控制系统的实例

恒温箱就是一个简单的温度控制系统的例子,但却包含着普遍的意义。恒温箱发明于17世纪初,被应用于孵鸡和养雏。箱子里插入一个温度计,还有一个加热电阻丝和开关串联起来的电路,如图1-5所示。

1. 手动控制的过程

要保持箱内温度为 20°C (假定周围环境温度低于所要保持的温度),人们一面用眼睛观察温度计,一面用手打开或接通开关。当温度计的水银柱低于 20°C 时,人们用手合上开关,这时电流通过加热

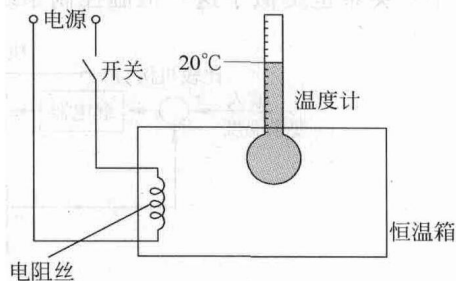


图 1-5 恒温箱工作原理示意图

电阻丝,产生热量,使箱内温度上升;到了 20°C 时,人们就将开关断开,电流不通,电阻丝不再产生热量,这样温度就达到了 20°C 。这样一边用眼观察,一边用手控制,使箱内温度保持在 20°C ,这就是用人工控制使箱子保持恒温的操作过程。

2. 自动控制的过程

如图1-6所示,在图1-5基础上增加一个弹簧,一个继电器以及接到温度计上的有关线路。它们的作用就是代替人工的操作。具体工作过程如下:弹簧的作用是拉住开关,使得开关在一般情况下处于接通的状态,这时电阻丝发热。继电器就是电磁铁,当有电流通过它

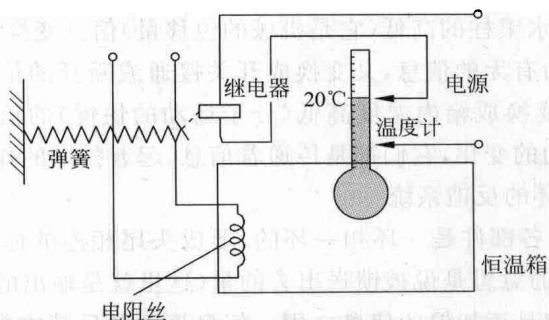


图 1-6 恒温箱自动控制系统